TD n^{o}2 : effet Doppler-Fizeau

Exercice 1 :

1. A quoi correspond la première raie de Balmer ?
2. Une source se rapproche de l'observateur à 90 km.s^{-1}. A quelle longueur d'onde est observée sa raie de Balmer H_α, au repos à 656.3 nm ?
3. La raie de l'hydrogène à 21 cm (1420.4 MHz) est observée pour une source donnée à 1390.0 MHz. Cette source s'éloigne-t-elle de l'observateur ?
4. Estimer la vitesse radiale en km.s^{-1} de cet objet par rapport à l'observateur.

Exercice 2 :*La sonde Cassini-Huygen* En 2004 la sonde CassiniHuygens est arrivée dans le système de Saturne. Le module Huygens s'est détaché de la sonde Cassini pour aller se poser à la surface de Titan. Afin de ne pas s'écraser sur le sol, Huygens est doté d'un radar émetteur-récepteur permettant par effet DopplerFizeau de mesurer sa vitesse de rapprochement du sol de Titan.

1. En décrivant le trajet suivit par une onde émise par Huygens jusqu'à sa réception par Huygens, déterminer le décalage entre la longueur d'onde émise λ_S et la longueur d'onde perçue λ_P en fonction de la vitesse de la lumière c, λ_S et la vitesse de rapprochement de la sonde Huygens du sol de Titan v_r (on négligera $(v_r/c)2$ devant v_r/c).
2. Les ondes radar émises ont une longueur d'onde $\lambda_S = 2$ cm. Sachant que la vitesse de rapprochement de la sonde Huygens à l'instant de son largage par la sonde Cassini est de 20 m.s^{-1}, calculer le décalage en longueur d'onde correspondant.
3. Quelle est la vitesse de rapprochement de la sonde lorsque le décalage $\lambda_P - \lambda_S = 5,337$ nm (ce décalage correspond à l'ouverture d'un parachute permettant de ralentir la chute de la sonde).
4. A cet instant, la durée écoulée entre l'envoie et la réception d'un écho radar par la sonde Huygens est de 1,2 ms. En déduire l'altitude de la sonde à cet instant.

Exercice 3 :*Vitesse radiale d'Arcturus et vitesse orbitale de la Terre* On observe l'étoile Arcturus (α Bouvier) à deux dates t_1 et t_2 espacées de 6 mois. La latitude par rapport au plan de l'orbite de la Terre est $b_a = 30°, 75$

et la longitude par rapport à une direction γ fixe est $l_a = 204°, 25$. En t_1 la longitude de la Terre est $l_1 = 114°, 25$ et en t_2 de $l_2 = 294°, 25$. Voir la figure pour les conditions d'observation et la position des angles.

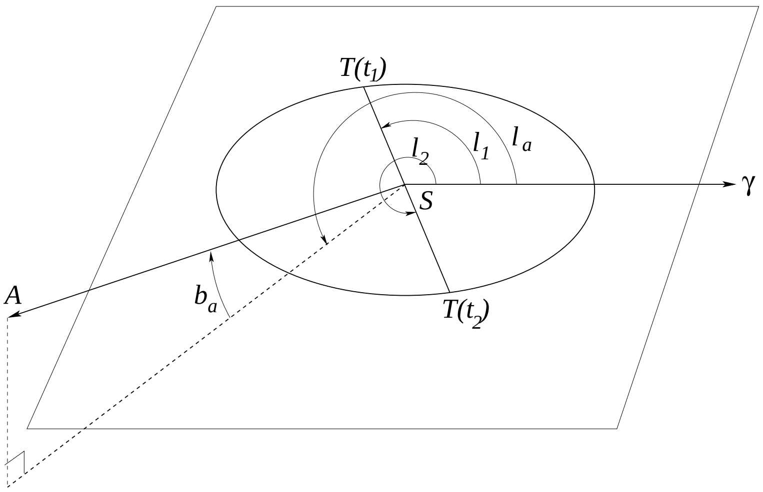


FIGURE 1 – Situation de l'observation d'Arcturus. Voir l'ennoncé pour la valeur des angles.

Aux dates t_1 et t_2, on effectue un spectre de la lumière provenant d'Arcturus. L'étude des raies d'absorption permet de voir qu'une raie d'absorption du fer qui normalement se situe à $\lambda_0 = 446,1650$ nm est perçue à $\lambda_1 = 446,123$ nm sur le spectre obtenu à la date t_1 et à $\lambda_2 = 446,199$ nm sur le spectre obtenu à la date t_2.

1. soit V la vitesse de rotation orbitale de la Terre, supposée constante, et V_a la vitesse radiale d'Arcturus par rapport au Soleil. Cette vitesse est supposée la même à l'instant t_1 et t_2. Ecrire en fonction de V, V_a et b_a la vitesse radiale d'Arcturus par rapport à la Terre en t_1 (on notera cette vitesse v_{r_1}) et en t_2 (que l'on notera v_{r_2}).
2. En appliquant la formule de l'effet Doppler-Fizeau en t_1 et t_2 pour la longueur d'onde de référence λ_0, exprimer v_{r_1} en fonction de λ_0, λ_1 et c, et v_{r_2} en fonction de λ_0, λ_2 et c.
3. En déduire l'expression de V et V_a en fonction de λ_0, λ_1 et λ_2. Calculer leur valeur numériquement en km/s.
4. En supposant la trajectoire de la Terre circulaire de rayon a et que la période orbitale de la Terre est de 365.2563 jours, calculer la distance Terre-Soleil en km.

Exercice 4 : *Vitesse de rotation de Saturne et de ses anneaux* Le 24 Juillet 1962 Saturne est observée à son transit (dans la direction du Sud) au moment d'une opposition (elle se trouve à l'opposée du Soleil) depuis l'OHP (Observatoire de Haute Provence). La figure montre comment est observée Saturne à ce moment là et comment le spectre de Saturne et de ses anneaux est obtenu. La figure montre les spectres obtenus. On observe trois bandes. La plus large au centre correspond au spectre de la lumière provenant de Saturne, et celles, plus étroites, de part et d'autre de la bande centrale, correspondent aux spectres de la lumière provenant des anneaux (partie haute et partie basse). Les indicateurs blancs sur le bord haut et le bord bas de la figure montrent les positions de raies d'absorption obtenues en laboratoire. Nous allons considérer trois d'entre elles, qui correspondent à trois raies d'absorption du fer indiquées sur la figure.

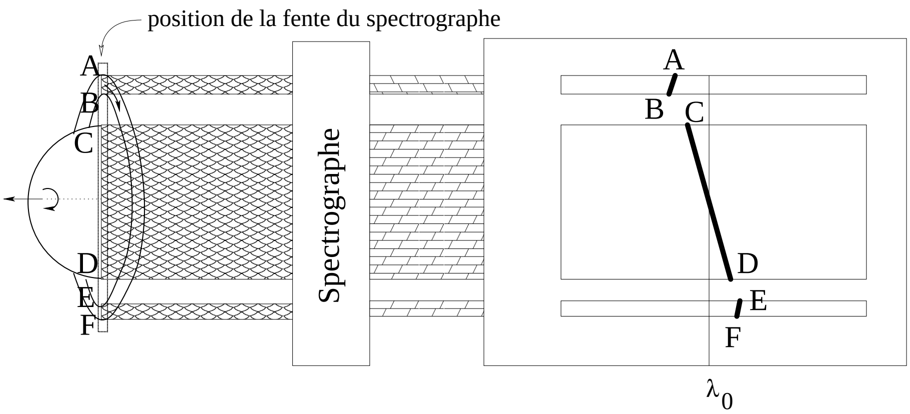
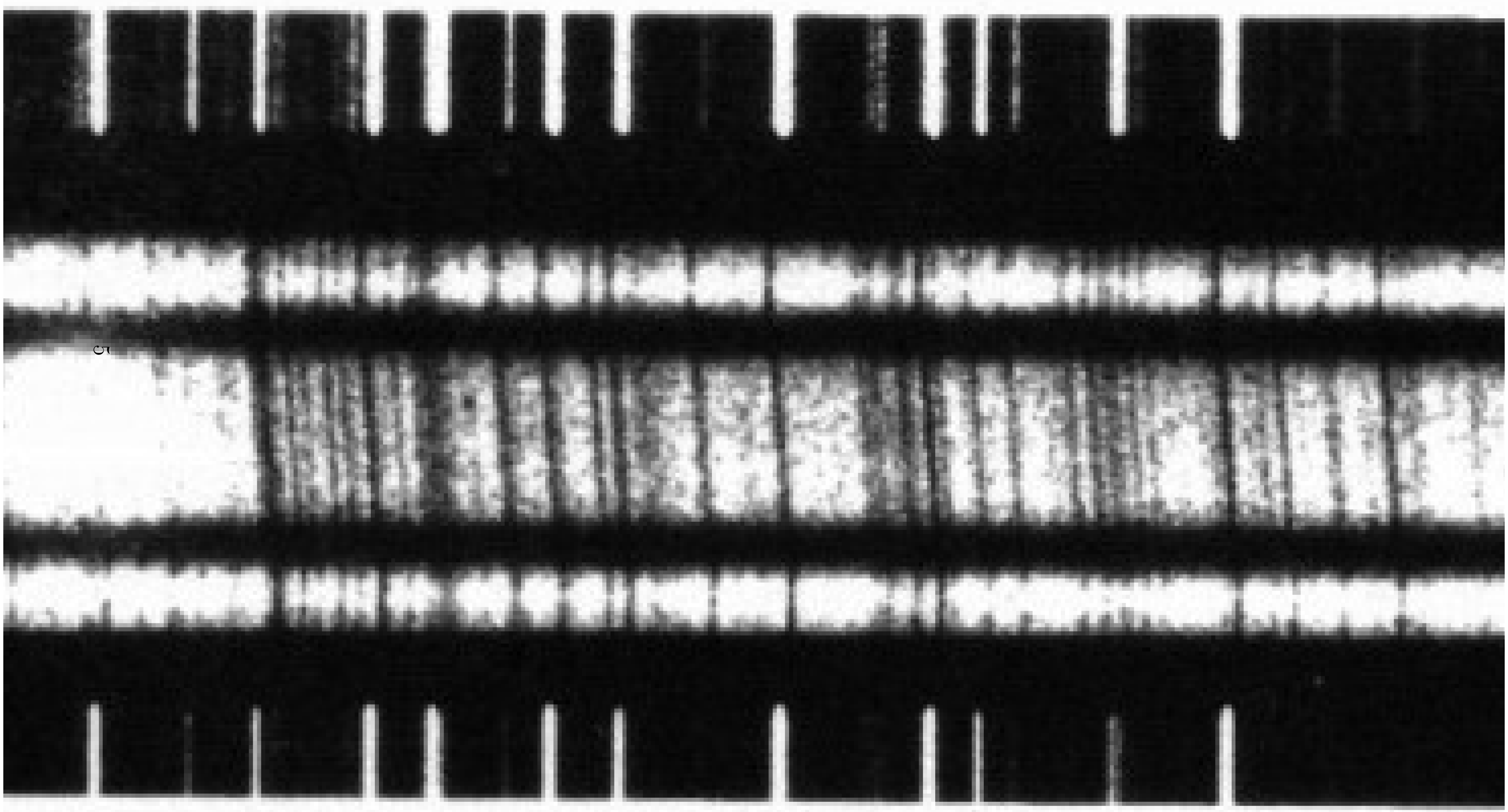


FIGURE 2 – Observation du spectre de Saturne. Le plan défini par la fente et l'observateur ne contient pas celui des anneaux, sinon on verrait les anneaux par la tranche. Au moment de l'observation l'angle entre l'équateur de Saturne (qui contient les anneaux) et le pan défini par la fente et l'observateur est de 10°.

1. Sur du papier calque millimétré, reproduire les 3 raies d'absorption du fer pour les anneaux et la planète. Chaque raie doit être représentée par un trait fin à la règle et de même longueur. Reproduire aussi sur le papier millimétré les positions centrales des trois raies d'absorption obtenues en laboratoire.
2. En utilisant la valeur des longueurs d'onde pour les raies en laboratoire et leur séparation en mm, calculer l'échelle E de votre figure. On pourra faire plusieurs mesures en utilisant différentes raies.

3. Saturne et ses anneaux n'émettent pas de lumière, ainsi les spectres obtenus correspondent à la décomposition de la lumière provenant du Soleil et réfléchie par Saturne ou ses anneaux. Soit $v_r(M)$ la vitesse radiale par rapport à l'observateur sur Terre d'un point m de la surface de Saturne ou de ses anneaux. Pourquoi $v_r(M)$ est-il aussi la vitesse radiale de ce point M par rapport au Soleil ?
4. Soit $\lambda_\odot$ la longueur d'onde émise par le Soleil, $\lambda_S(M)$ la longueur d'onde perçue par le point M de Saturne ou de ses anneaux. Calculer le décalage entre $\lambda_\odot$ et $\lambda_S(M)$ en fonction de la vitesse de la lumière c, de $v_r(M)$ et de $\lambda_\odot$.
5. Soit $\lambda_\oplus(M)$ la longueur d'onde perçue par l'observateur sur Terre de la lumière provenant du point M. Calculer le décalage entre $\lambda_\oplus(M)$ et $\lambda_S(M)$ en fonction de la vitesse de la lumière c, de $v_r(M)$ et de $\lambda_S(M)$.
6. En déduire le décalage entre $\lambda_\oplus(M)$ et $\lambda_\odot$ en fonction de la vitesse de la lumière c, de $v_r(M)$ et de $\lambda_\odot$. On pourra simplifier le résultat en négligeant le terme en $(v_r(M)/c)^2$ devant $v_r(M)/c$.
7. En déduire $\lambda_\oplus(C) - \lambda_\oplus(D)$ (voir la figure) en fonction de c, v_S où v_S est la vitesse de rotation de Saturne sur elle-même au niveau de l'équateur, et $\lambda_\odot$.
8. En déduire v_S en fonction de E, $\lambda_\odot$ et ΔL où Δ_L est la séparation relevée en mm entre $\lambda_\oplus(C)$ et $\lambda_\oplus(D)$ sur le figure .
9. Sachant que le rayon de Saturne est de 60 300 km calculer la période de rotation de Saturne sur elle-même en heures.
10. Reprendre les trois dernières questions pour le bord interne (points B et E) et externe (points A et F) des anneaux de Saturne (les rayons respectifs étant 92 000 km et 136 500 km). Pourquoi les anneaux ne sont-t-ils pas solide ?
11. Montrer que pour chaque bords la quantité P^2/R^3 est approximativement la même étant données les erreurs de mesures.

Spectre de Saturne et de ses anneaux



Raies du fer λ_{ref} (nm) = : 446.654 447.602 449.457